

Variabilidad espacial y diaria del contenido de humedad en el suelo en tres sistemas agroforestales

Spatial and daily variability of soil moisture content in three agroforestry systems

Mariela Rivera Peña¹, Edgar Amézquita Collazos¹, Idupulapati Rao¹, Juan Carlos Menjivar Flores²

¹Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Valle, Colombia; ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 237, Palmira, Valle, Colombia. Autores para correspondencia: m.rivera@cgiar.org; jcmenjivarf@palmira.unal.edu.co

REC.: 24-11-08

ACEPT.: 10-06-09

RESUMEN

En seis puntos de tres transectos (102 m) paralelos (9 m) en tres sistemas de uso del terreno (Quesungual menor de dos años, SAQ<2, Tradicional de Tala y Quema, TQ y Bosque Secundario, BS) se tomaron muestras de suelo a cuatro profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm y 20 a 40 cm) y tres horas (09, 11 y 15) durante 9 días. Se modeló el análisis estructural de la variación de los parámetros humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico, arena y arcilla. El coeficiente de variación de los parámetros evaluados presentó rangos para densidad aparente (0.76 y 15.1%), carbono orgánico (30.4 y 54.3%), humedad volumétrica (9.5 y 23.5%), arena (12.8 y 22.5%) y arcilla (14.0 y 29.2%). En los análisis geoestadísticos el componente al azar de la dependencia espacial predominó sobre el efecto pepita (nugget). Con las funciones de los semivariogramas estructurados para cada variable se generaron mapas de contorno interpolados a escala fina los cuales mostraron heterogeneidad en las propiedades evaluadas. La autocorrelación de Morán (I) indicó que rangos de muestreo menores a 9 m podrían ser adecuados para detectar la estructura espacial de la variable humedad volumétrica.

Palabras clave: Variabilidad espacial; humedad de suelo; densidad aparente; carbono orgánico.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the level of soil spatial variability in an area consisting of the land uses: Quesungual slash and mulch agroforestry system with less than two years (QSMAS<2), Slash-and-burn traditional system (SB) and Secondary forest (SF). Soil samples were taken in three parallel transects of 102 m in length, separated 9 meters. The profile was sampled in the depths from 0 to 5 cm, 5 to 10 cm, 10 to 20 cm and 20 to 40 cm in 6 points (09, 11 am and 05) during 9 days. Coefficient of variation for soil properties varied for bulk density (0.76 and 15.1%), organic carbon (30.4 and 54.3%), volumetric moisture (9.5 and 23.5%), sand (12.8 and 22.5%) and clay (14.0 and 29.2%). The geo-statistical analysis showed that the random component of the spatial dependence was predominant over the nugget effect. The functions of semivariograms, structured for each variable were used to generate maps of interpolated contours at a fine scale. The Moran (I) autocorrelation indicated that sampling ranges less than 9 m would be adequate to detect spatial structure of the volumetric moisture variable.

Keywords: Spatial variability; soil moisture; bulk density; organic carbon.

INTRODUCCIÓN

Aunque la variabilidad espacial de las propiedades del suelo se atribuye predominantemente a la interacción de los factores pedológicos y geológicos, también la afectan procesos erosivos y de depósito que generan los sistemas de uso del terreno (Iqbal *et al.*, 2005).

Los suelos de Honduras se consideran los más antiguos de Centroamérica, susceptibles a erosión, de baja fertilidad (deficiencia de P, S y B), con lixiviación

severa y en algunas áreas muy ácidos; sin embargo la buena porosidad en laderas con fuertes pendientes permite cultivarlos. Estos suelos presentan áreas extensas de antiguos flujos de lava que forman una capa relativamente impermeable, denominada Talpetate en nahua y hardpan en inglés (Williams, 1994), de profundidad variable entre muy cerca de la superficie y dos metros, que puede limitar el crecimiento de las raíces y la capacidad de la vegetación para resistir los periodos de sequía (Barrance *et al.*, 2003).

El Sistema Agroforestal Quesungual, SAQ, que se practica en el sureste de Honduras como alternativa a la agricultura de tala y quema, se basa en el mantenimiento de la cobertura del suelo por residuos de cultivos y poda de árboles y arbustos (Welchez *et al.*, 2006). Los objetivos del estudio fueron comparar mediante análisis geoestadísticos la variabilidad espacial y diaria de la humedad volumétrica del suelo en el sistema agroforestal Quesungual (SAQ), el sistema tradicional de tala y quema-TQ y en el bosque secundario, y determinar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo: densidad aparente, carbono orgánico, arena y arcilla en los sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 2448 m² en la Comunidad de Camapara, municipio de Candelaria, departamento de Lempira, Honduras (14°04'60" N, 88°34'00" W, 17 - 25°C, precipitación pluvial anual 1400 mm), en la subcuenca del río Lempa, trópico sub-húmedo. En la zona el 80% de la agricultura es de subsistencia y está concentrada en fincas menores de 5 ha. Los suelos se clasifican como Entisoles (Lithic Ustorthents), son ácidos, pedregosos, con bajo contenido de P disponible y de materia orgánica.

Se seleccionó el sistema SAQ de dos años de establecido (512 msnm, 64.7%) por las ventajas ambientales y sociales; el tradicional de tala y quema (TQ: 532 msnm, 12.8%), por ser el que más se usa en la región a pesar de los efectos negativos y el bosque secundario (BS: 540 msnm, 23.5%) como sistema de referencia.

Se demarcaron tres transectos en el sentido de la pendiente (N-S) separados nueve metros, en cada transecto se señalaron seis puntos cada 18 metros. Las muestras se tomaron al inicio de la temporada de lluvias, durante nueve días (26 de mayo a 3 de junio de 2006), a cuatro profundidades (0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 y 20 - 40 cm). Alrededor de cada punto fijo se establecieron 8 puntos adicionales separados entre sí 3 m en la coordenada x y 6 m en la coordenada y, los cuales formaron un rectángulo de 6 x 12 m. Para cada día el muestreo en el transecto 1 se inició a las 09 horas, en el 2 a las 11 y en el 3 a las 15; el primer día se muestrearon los puntos fijos (Figura 1).

La humedad se determinó mediante el método gravimétrico, textura por hidrómetro (Gee y Bauder, 1986) y carbono orgánico por digestión seca (Rabenhorst, 1988). En muestras sin disturbar (tomadas en anillos metálicos de 5 cm de alto x 5 cm de diámetro) se determinó la densidad aparente.

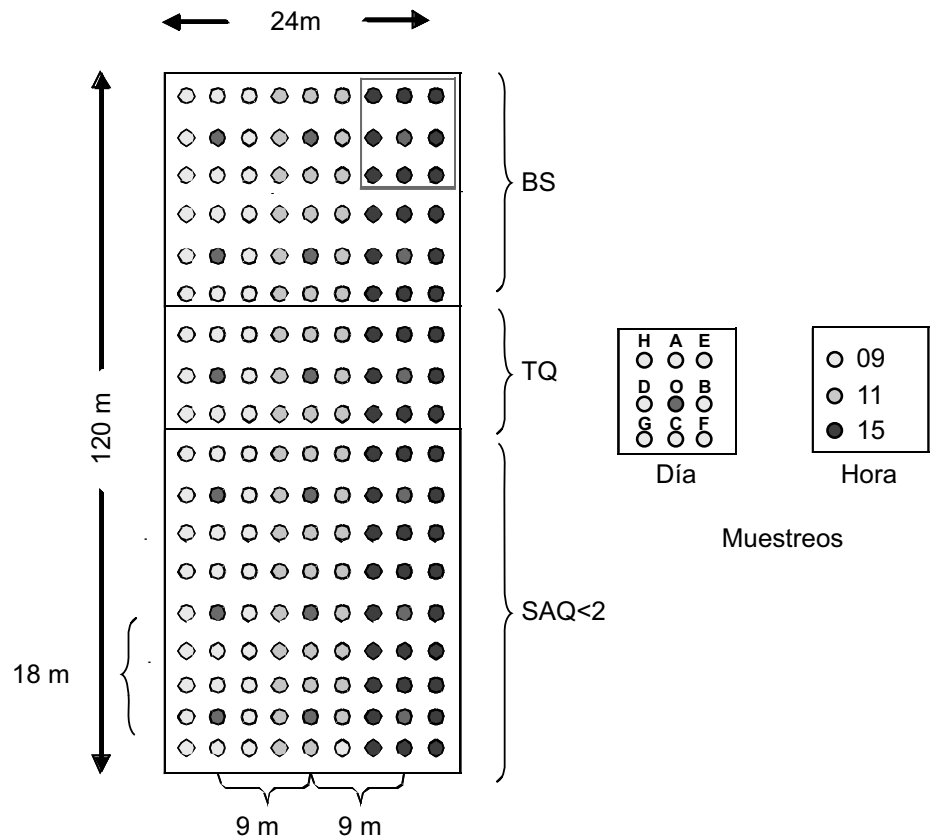


Figura 1. Distribución del muestreo en tiempo y espacio en el transecto en los sistemas Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2>) y Bosque Secundario (BS). Camapara, Candelaria, Lempira, Honduras, 2006

Con métodos de estadística descriptiva se obtuvieron los valores máximos, mínimos, media, mediana, desviación estándar y asimetría (Shapiro y Wilk, 1965). Mediante ANOVA (SAS Institute, 1996) se comparó cada variable a través del perfil, con la prueba de diferencia mínima significativa ($P < 0.05$). Las variables con coeficiente de variación alto se transformaron usando raíz cuadrada o logaritmo natural.

El grado de variabilidad espacial se determinó por métodos geoestadísticos usando análisis de semivariograma, *kriging*, y autocorrelación (Trangmar *et al.*, 1985; Bailey y Gatrell, 1998). Antes de aplicar las pruebas geoestadísticas se determinó la normalidad, tendencia y anisotropía de cada variable. La tendencia geográfica se estimó usando el software GS-Plus (1995). Cuando la variable presentó tendencia geográfica se desarrolló un modelo de primer orden (lineal) para la variable z (variable dependiente) y las coordenadas geográficas (variables independientes).

Como se desconoce la forma exacta del semivariograma, el modelo seleccionado es una aproximación a la función (Journel y Huijbregts, 1978). Sin embargo, para seleccionar el mejor modelo se ejecutó el procedimiento de ensayo y error de Jack – Knifing, que usa datos de puntos cercanos hasta lograr el mejor ajuste entre el valor estimado y el medido (Bailey y Gatrell, 1998).

La función del semivariograma (Goovaerts, 1977) se estimó mediante la fórmula:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [z(X_i + h) - z(X_i)]^2 \right\}$$

En la cual:

γ = semivarianza para el intervalo de clase (h)

$N(h)$ = número de pares separado por la distancia, entre dos posiciones muestreadas

$z(X_i)$ = variable medida en la posición espacial (i)

$z(X_i + h)$ = variable medida en la posición espacial ($i+h$)

Los tres parámetros básicos del semivariograma describen la estructura espacial como:

$\gamma(h) = C_0 + C$; En la cual C_0 representa el efecto *nugget*, ó variación local que ocurre en una escala menor que los intervalos del muestreo y $C_0 + C$ es el umbral o varianza total. La distancia en la cual los niveles del semivariograma caen en el umbral se llama rango.

Se elaboraron mapas de contorno de cada variable para cada horizonte por el método de *kriging* (David 1977; Clark 1979).

Para la autocorrelación espacial se usó el estadígrafo I (Moran 1950) cuyo rango oscila desde + 1.0

(positiva fuerte), pasando por cero (comportamiento al azar), hasta -1.0 (negativa fuerte) (Viera *et al.*, 1981).

El estadígrafo I de Morán se estima por la fórmula:

$$I = \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right]$$

En la cual:

n = número de puntos

X = variable de interés

\bar{X} = media

W_{ij} = peso espacial que describe la adyacencia ó distancia entre los puntos i -ésimo y j -ésimo.

Los correlogramas para humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico, arena y arcilla se calcularon de los puntos de una grilla a 8.3 m.

La clase de dependencia espacial se consideró fuerte cuando la relación espacial (% *nugget* = *nugget* de la semivarianza/semivarianza total $\times 100$) fue $< 25\%$, moderada entre 25 y 75% y débil $> 75\%$ (Cambardella *et al.*, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación de la variabilidad diaria de la humedad de suelo se utilizaron los datos de mayores diferencias (09 y 15 horas). Se observaron diferencias en contenido de humedad volumétrica entre sistemas de uso del terreno, profundidad de suelo y horas de muestreo: En TQ sólo de 0 a 5 cm los valores a las 09 fueron significativamente mayores (23.0%) vs (15.2%), debido a mayor evaporación por falta de cobertura. Como se esperaba en SAQ <2 no mostraron diferencias significativas por la bondad de la cobertura para el mantenimiento de la humedad. De 5 a 10 cm los valores a las 09 fueron significativamente menores, la diferencia correspondió al aumento de 12.8%; de 10 a 20 cm la diferencia significó reducción de 8.1%. En 20 a 40 cm no se presentaron diferencias significativas (Tabla 1).

En BS los valores de 0 a 5 cm fueron significativamente mayores a las 09, diferencia que correspondió a una reducción de 24.6%; de 5 a 10 cm, los valores fueron significativamente menores a las 09, diferencia equivalente a un aumento de 14.2%; de 10 a 20 cm mostró valores significativamente menores (22.0%) a las 09, diferencia que significó aumento de 21.4%; de 20 a 40 cm no se presentaron diferencias notables en el contenido de humedad (Tabla 1).

Tabla 1. Estadística descriptiva para contenido volumétrico de humedad (%), en los sistemas Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2) y Bosque Secundario (BS), de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Sistema	Prof (cm)	Hora	Min	Max	Media ^{&}	Mediana	Asimetría ^{&&}	DS
TQ	0-5	09	19.5	26.5	23.0a	22.9	-0.13	2.53
		11	11.3	27.8	21.6a	22.5	-1.27	4.94
		15	12.3	17.0	15.2b	15.6	-0.53	1.68
	5-10	09	20.0	26.7	22.8a	21.9	0.33	2.46
		11	20.1	26.2	22.2a	21.6	0.81	2.06
		15	19.4	24.0	21.5a	21.4	0.27	1.84
	10-20	09	20.0	26.5	23.6a	23.8	-0.28	2.26
		11	19.2	24.5	22.0a	22.2	-0.23	1.71
		15	16.2	25.2	21.7a	22.4	-0.80	3.48
	20-40	09	18.3	24.1	21.3b	21.6	-0.40	1.62
		11	20.2	27.3	23.3a	23.0	0.41	2.42
		15	15.6	23.3	20.3b	21.4	-0.98	2.83
SAQ<2	0-5	09	14.8	34.9	22.3a	22.5	0.42	5.14
		11	9.0	31.5	20.2a	20.5	0.01	4.95
		15	14.3	28.9	20.4a	19.4	0.73	3.83
	5-10	09	14.1	28.9	19.4b	19.1	0.91	3.41
		11	13.6	32.4	21.7a	21.4	0.87	3.25
		15	15.5	30.3	21.9a	22.8	0.12	3.71
	10-20	09	17.2	31.9	23.9a	23.9	0.03	3.72
		11	16.2	31.1	23.1b	24.6	-0.14	3.81
		15	16.0	28.1	22.1b	21.9	0.14	2.59
	20-40	09	16.1	33.1	23.7a	22.2	0.41	4.94
		11	11.5	53.6	24.1a	23.6	2.52	6.72
		15	17.2	33.5	23.5a	24.0	0.39	3.42
BS	0-5	09	20.5	31.5	25.8a	24.4	0.53	4.07
		11	21.1	32.5	26.0a	25.3	0.96	3.42
		15	17.9	28.8	20.7b	30.6	2.31	3.22
	5-10	09	15.7	27.1	21.8b	22.0	-0.17	3.84
		11	17.0	25.1	20.6b	21.4	0.01	2.41
		15	19.5	28.1	24.9a	26.5	-0.95	3.05
	10-20	09	16.7	26.8	22.0a	21.8	0.17	3.97
		11	18.2	37.3	23.5a	22.5	2.00	5.68
		15	20.0	30.6	26.7a	27.9	-0.78	3.30
	20-40	09	14.1	34.1	22.6a	22.9	0.74	6.11
		11	18.4	26.9	21.2a	20.9	0.95	3.13
		15	15.3	25.7	22.6a	24.3	-1.45	3.73

& Media de la variable seguida de la misma letra no presenta diferencias significativa (DMS; P<0.05);

&& Prueba de Shapiro-Wilk usada para probar el nivel de significancia de la normalidad (P<0.05);

SD = Desviación estándar.

En los tres sistemas la disminución diaria en contenido de humedad del suelo sucedió en la superficie (0 a 5 cm), corroborando los efectos benéficos del SAQ, en el cual la cobertura o *mulch* contribuye a la menor variación de la humedad. En TQ la evaporación superficial alta se asoció con la pérdida drástica de la humedad. La pérdida de humedad en BS, equivalente a la mitad de la ocurrida en TQ, se atribuyó a la mayor actividad de la vegetación. Mientras en SAQ aumentó el contenido de humedad en 5 -10 cm, al igual que en

el BS de 5 a 20 cm, en TQ disminuyó a lo largo de todo el perfil.

La densidad aparente en las diferentes profundidades varió entre 1.02 y 1.41 g cm⁻³ en los tres sistemas de uso del terreno. Los valores en la superficie fueron significativamente menores (P<0.05) que de 5 a 40 cm (Tabla 2). Los valores correlacionaron positivamente con el contenido volumétrico de humedad de 0 a 5 cm de profundidad.

Tabla 2. Estadística descriptiva para Densidad aparente (Da), Carbono orgánico (CO), Arena y Arcilla, en los sistemas Tala y Quema (TQ), Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ<2) y Bosque Secundario (BS), de 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Sistema	Var	Prof (cm)	Min	Max	Media ^{&}	Mediana	Asimetría ^{&&}	DS
TQ	Da g cm ⁻³	0-5	0.81	1.16	1.02b	1.09	-0.63	0.15
		5-10	1.18	1.25	1.22a	1.24	-0.82	0.03
		10-20	1.25	1.27	1.26a	1.27	-0.74	0.01
		20-40	1.16	1.38	1.25a	1.20	0.59	0.09
SAQ<2		0-5	0.70	1.41	1.06d	1.09	-0.82	0.15
		5-10	0.93	1.57	1.21c	1.27	-0.36	0.15
		10-20	1.13	1.71	1.35b	1.32	0.21	0.13
		20-40	0.93	1.72	1.41a	1.43	0.11	0.18
BS		0-5	1.11	1.28	1.18c	1.18	0.31	0.07
		5-10	1.20	1.53	1.33b	1.27	0.61	0.14
		10-20	1.25	1.71	1.44a	1.34	0.57	0.20
		20-40	1.37	1.46	1.41a	1.41	0.21	0.03
TQ	CO %	0-5	1.00	2.88	1.69a	1.66	0.48	0.51
		5-10	0.64	1.85	1.15b	1.06	0.47	0.38
		10-20	0.37	1.51	0.87c	0.85	0.32	0.31
		20-40	0.20	1.53	0.70c	0.66	0.75	0.37
SAQ<2		0-5	0.26	3.10	1.63a	1.44	0.35	0.69
		5-10	0.13	2.51	1.11b	1.04	0.68	0.48
		10-20	0.17	2.45	0.85c	0.79	1.07	0.43
		20-40	0.13	1.74	0.66d	0.58	0.90	0.37
BS		0-5	0.70	3.28	1.72a	1.74	0.32	0.64
		5-10	0.52	1.81	1.16b	1.06	0.18	0.42
		10-20	0.38	1.58	0.89c	0.95	0.07	0.33
		20-40	0.18	1.32	0.62d	0.61	0.37	0.30
TQ	Arena %	0-5	35.6	58.1	42.58a	42.40	1.35	5.46
		5-10	29.1	54.7	42.09a	40.90	0.16	6.27
		10-20	28.6	58.0	43.27a	42.70	0.05	7.15
		20-40	25.8	55.0	42.29a	45.00	-0.76	7.07
SAQ<2		0-5	32.0	70.8	43.23a	42.25	1.62	5.86
		5-10	32.4	69.0	42.81a	42.55	1.02	6.36
		10-20	32.3	69.0	44.31a	42.90	0.83	8.08
		20-40	29.6	65.3	45.16a	44.35	0.40	7.60
BS		0-5	33.5	54.5	42.92a	43.00	0.20	4.66
		5-10	33.2	63.7	43.22a	43.10	0.87	7.34
		10-20	32.5	66.6	43.78a	42.15	1.07	7.96
		20-40	30.8	75.2	44.78a	42.30	1.13	10.1
TQ	Arcilla %	0-5	18.7	32.7	26.53a	27.50	-0.64	3.74
		5-10	16.0	35.4	27.38a	28.90	-0.92	4.84
		10-20	14.7	37.6	26.70a	26.60	-0.23	5.66
		20-40	14.2	39.2	25.55a	25.00	0.40	6.30
SAQ<2		0-5	11.6	33.0	26.53a	26.80	-1.75	3.79
		5-10	9.1	34.1	27.19a	27.75	-1.38	4.29
		10-20	10.3	35.4	25.93a	26.80	-0.57	5.60
		20-40	11.6	37.0	24.16a	23.95	-0.03	6.08
BS		0-5	17.5	31.9	26.28a	26.30	-0.55	3.22
		5-10	17.6	32.3	26.94a	28.60	-0.70	4.09
		10-20	14.2	34.8	26.98a	28.55	-0.70	5.77
		20-40	11.2	37.6	25.62a	28.00	-0.34	7.49

[&] Media de la variable seguida de la misma letra no presenta diferencias significativa (DMS; P<0.05);

^{&&} Prueba de Shapiro-Wilk usada para probar el nivel de significancia de la normalidad (P<0.05)

El contenido de carbono orgánico en las diferentes profundidades varió entre 0.62 y 1.72 % en los tres sistemas de uso y significativamente (P<0.05) entre horizontes. Los mayores contenidos (TQ: 1.69,

SAQ<2: 1.63 y BS: 1.72 %) se presentaron de 0 a 5 cm. En general, el contenido de carbono orgánico correlacionó positivamente con el contenido de arcilla y de forma negativa con el de arena. No hubo diferencias

significativas para contenido de arena y arcilla entre los sistemas de uso del terreno ni entre las profundidades; se presentaron correlaciones negativas entre contenidos de arcilla y arena.

El semivariograma de la humedad volumétrica mostró moderada dependencia espacial en todas las

profundidades. La dependencia de la densidad aparente fue fuerte de 0 a 10 cm y moderada de 10 a 40 cm. El contenido de carbono orgánico solo presentó dependencia moderada de 5 a 10 cm. La dependencia espacial en las cuatro profundidades fue moderada para los contenidos de arena y arcilla (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros del semivariograma para Humedad volumétrica (HV), Densidad aparente (Da), Carbono orgánico (CO), Arena y Arcilla de 0 -5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Var	Prof (cm)	Mod.	Nugget	Sill	Nugget %	Clase espacial	Rango	R
HV	0-5	Exp ^{&}	0.03780	0.07570	50	M	210.9	0.061
	5-10	Exp.	0.01976	0.03962	50	M	210.9	0.367
	10-20	Lin ^{&&}	0.01854	0.03718	50	M	210.9	0.269
	20-40	Exp.	0.02965	0.05940	55	M	210.9	0.287
DA g cm ⁻³	0-5	Exp.	0.00312	0.01336	23	F	176.4	0.667
	5-10	Esf ^{&&&}	0.00036	0.00479	8	F	27.3	0.923
	10-20	Exp.	0.00237	0.00869	27	M	169.0	0.529
	20-40	Exp.	0.00394	0.00789	50	M	147.5	0.148
CO	0-5	Lin.	0.05915	0.06365	93	D	78.6	0.165
	5-10	Exp.	0.03800	0.07610	50	M	78.6	0.111
	10-20	Lin.	0.04311	0.04311	100	D	78.6	0.000
	20-40	Lin.	0.04115	0.04473	92	D	78.6	0.102
Arena	0-5	Exp.	0.01163	0.02726	43	M	210.9	0.542
	5-10	Exp.	0.01735	0.03480	29	M	210.9	0.602
	10-20	Exp.	0.02557	0.05124	50	M	210.9	0.765
	20-40	Exp.	0.02794	0.05598	50	M	210.9	0.710
Arcilla	0-5	Exp.	0.02061	0.04132	50	M	210.9	0.196
	5-10	Exp.	0.02708	0.05746	47	M	210.9	0.397
	10-20	Exp.	0.04670	0.09990	47	M	210.9	0.619
	20-40	Exp.	0.06030	0.12070	30	M	210.9	0.322

Mod. = Modelo; [&] Esp. = Exponencial; ^{&&} Lin. = Lineal; ^{&&&} Esf = Esférico

% Nugget = (Nugget de la semivarianza)/(Semivarianza total)×100;

% Nugget <25% (F) = Fuerte dependencia espacial; entre 25 y 75% (M) = Moderada dependencia espacial y > 75% (D) débil dependencia espacial.

El rango de los modelos de los semivariogramas indicó presencia de estructura espacial más allá de 18 m . El rango para todos los horizontes fue mayor para humedad volumétrica y contenidos de arena y arcilla (210.9 m), seguido por densidad aparente (27.3 - 176.4 m) y carbono orgánico (78.6 m). El análisis de la estructura espacial indicó variabilidad para humedad volumétrica, densidad aparente, carbono orgánico y contenidos de arena y arcilla.

Resultados presentados por Iqbal *et al.* (2005), revelaron ajuste al modelo esférico para contenido de humedad de suelo a capacidad de campo, con moderada dependencia espacial excepto en la sub-superficie (dependencia fuerte); ajuste al modelo exponencial y dependencia moderada para densidad aparente y para contenido de arena y de arcilla en suelos Endoaquepts, cultivados en algodón (*Gossypium spp.*), Perhshire, Usa.

Los mapas de contorno mostraron mayor contenido de humedad volumétrica en la parte noroccidente en los sistemas BS, TQ y en la parte superior de SAQ<2 (Figura 2); menor contenido en 0 a 5 cm en el oriente de TQ; mayores contenidos en la parte alta del tran-

secto, excepto en 5-10 cm al suroccidente de SAQ<2. El contenido de humedad fue continuo de 10-40 cm en SAQ<2, aunque con mayores áreas de bajo contenido de 10 a 20 cm.

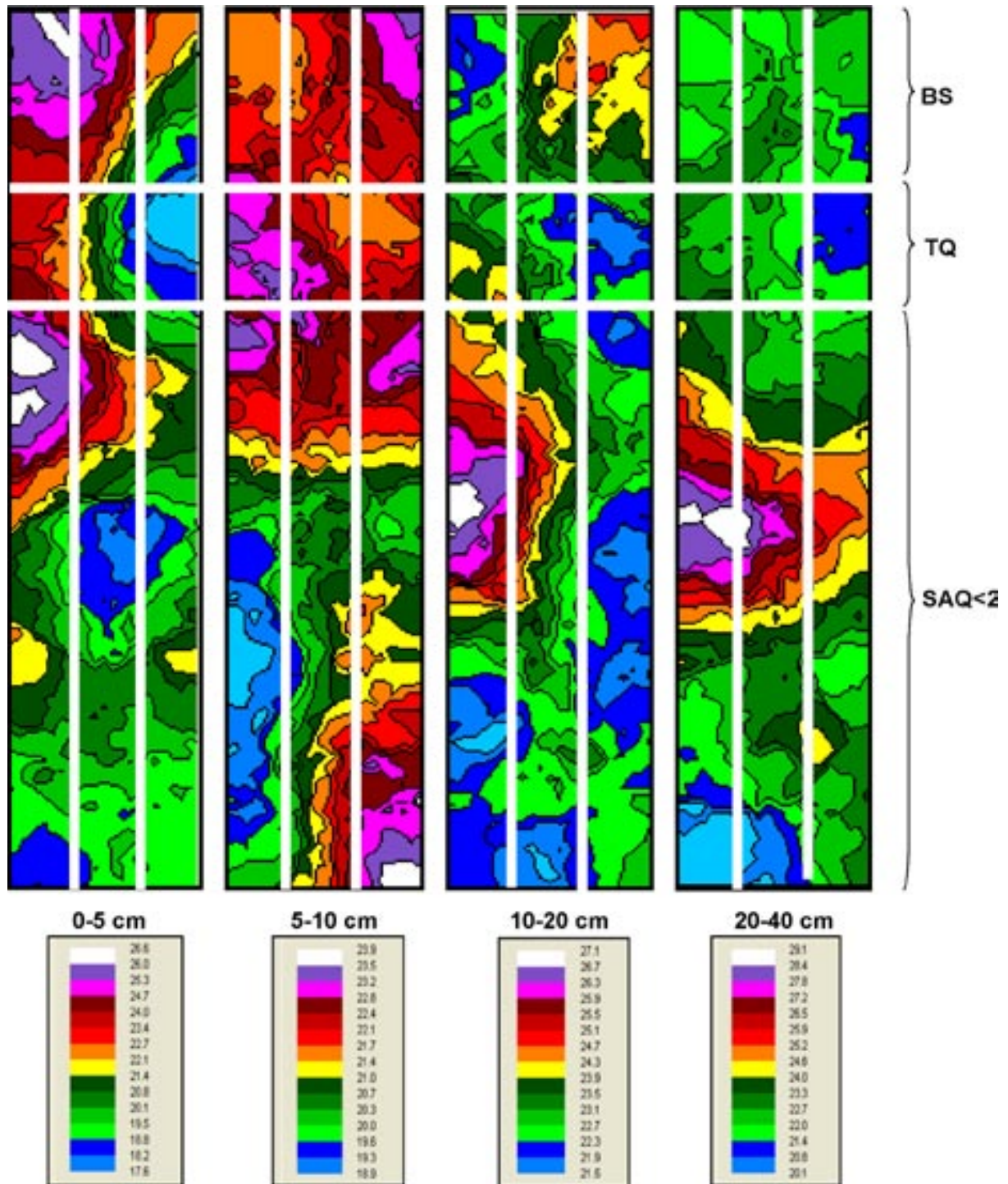


Figura 2. Mapa de contorno para contenido humedad volumétrica (%), de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

Los mayores contenidos de carbono orgánico (Figura 3) se presentaron de 0 a 10 cm en la parte intermedia de SAQ<2 años, seguido de BS; los menores

contenidos se observaron en la parte alta y baja de SAQ<2, tendencia que se mantuvo hasta 40 cm aunque con menores valores.

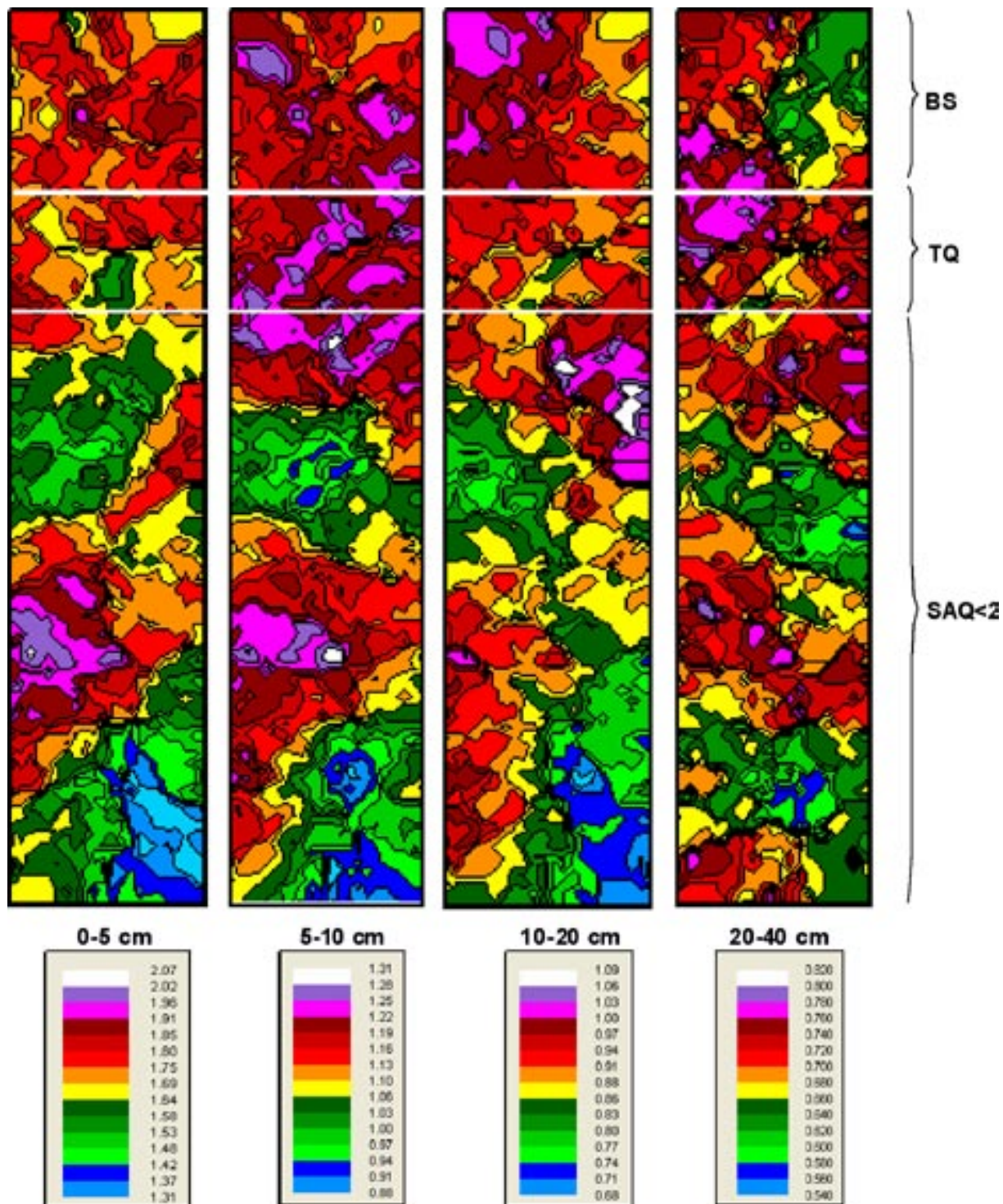


Figura 3. Mapa de contorno para contenido de carbono orgánico (%) de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad. Candelaria, Honduras, 2006.

En todas las profundidades el mayor contenido de arena se presentó en la parte inferior de SAQ<2, aumentando de extensión con la profundidad. En general el mayor contenido de carbono orgánico correspondió a menores contenidos de arena.

El menor valor en contenido de arcilla en las cuatro profundidades se presentó en la parte inferior del área de SAQ<2, en general el comportamiento fue contrario a la presencia de arena.

La autocorrelación en la distancia cero correspondió a uno y disminuyó cuando se incrementó hasta llegar a 78.7 m, alcanzando niveles no significativos. El índice de Morán I fue de 0.36 para contenido volumétrico de humedad de 0 a 5 cm; los índices de densidad aparente en 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 y de 20 a 40 cm fueron 0.50, 0.59, 0.56 y 0.53 respectivamente. Las variables restantes presentaron valores de correlaciones entre menores de 0.327 y -0.173. La distancia 8.33 m permite detectar variabilidad en humedad volumétrica de 0 a 5 cm y en densidad aparente en todas las profundidades.

CONCLUSIONES

Las herramientas de la estadística descriptiva fueron pertinentes para mostrar la variabilidad de las propiedades entre sistemas de uso del terreno y entre profundidades.

El análisis geoestadístico reveló variabilidad espacial entre las profundidades en contenido volumétrico de humedad, densidad aparente, contenidos de carbono orgánico, de arena y arcilla

Los valores de densidad aparente en la superficie fueron significativamente menores que en profundidad (5 a 40 cm), la tendencia contraria ocurrió con el contenido de carbono orgánico.

La autocorrelación de Morán (I) indicó que rangos de muestreo menores a 9 m podrían ser adecuados para detectar la estructura espacial de la humedad volumétrica.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa del reto del agua y la alimentación (CGIAR) y al Consorcio para el Manejo Integrado de Suelos de América Central (INTA, UNA-Nicaragua; FAO-Honduras; CIAT-Honduras Nicaragua y Colombia) por la financiación y asesoría académica de la tesis doctoral de M. Rivera P. de la cual se derivó el presente artículo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bailey, T.C.; Gatrell A.C. 1998. *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow, UK: Longman. 413p
2. Barrance, A.; Beer, J.W.; Boshier, D.H.; Chamberlain, J.; Cordero, J.; Detlefsen, G.; et al. 2003. *Trees of Central America: a manual for extension workers*. Oxford Forestry Institute/CATIE. 1079p
3. Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Navak, J. M.; Parkin, T. B., Karlen, D.L.; Turco, R.F.; Konopka, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 (5):1501–1511.
4. Clark, I. 1979. *Practical geostatistics*. London: Applied Science Publishers. 129p
5. David, M. 1977. *Geostatistics area reserve estimation*. New York: Elsevier Science Publishers. 364p
6. Gee, G.W.; Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-441. In: Klute A. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agronomy 9. Madison, Wisconsin: ASA-SSA.
7. Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford Univ. Press. 483p
8. GS-Plus. 1995. *Geostatistics for the Environmental Sciences user's manual for Windows and Unix*. Data analysis Product Division, MathSoft, Seattle, WA.
9. Iqbal, J.; Thomasson, J.A.; Jenkins, J.N.; Owens, P.R.; Whisler, F. D. 2005. Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69(4):1338–1350.
10. Journel, A.G; Huijbregts, C.J. 1978. *Mining geostatistics*. London: Academic Press. 600p
11. Moran, P.A. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37 (1-2): 17-23.
12. Rabenhorst, M.C 1988. Determination of organic carbon and carbonate carbon in calcareous soils using dry combustion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 (4):965-969.
13. SAS Institute 1996. *SAS systems for information delivery for Windows*. Release 6.12. Cary, NC: SAS Institute.
14. Shapiro, S.S; Wilk, M.B 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52(3-4): 591-611.
15. Trangmar, B.B; Yost R.S; Uehara. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.* 38:45-93.
16. Vieira, S.R.; Nielsen, R.S; Biggar, J.W. 1981. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 (6):1040-1048.
17. Welchez, L.A.; Ayarza, M.; Amézquita, E.; Barrios, E.; Rondón, M.; Castro, A.; et al. 2006. Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System. p 308. In: *Annual Report-TSBF Institute; Integrated Soil Fertility Management in the Tropic*.
18. Williams, B. J. 1994. Sixteenth century Nahua soil classes and rural settlement in Tepetlaoztoc. p. 359–366. In: *World Congress of Soil Science, 15 th. Acapulco, Mexico, 10-16 July*. Proceedings.